



# Apport de la méthode microsismique à la compréhension de l'impact de l'ennoyage sur la stabilité des ouvrages miniers abandonnées

Gloria Senfaute, Jérôme Wassermann

## ► To cite this version:

Gloria Senfaute, Jérôme Wassermann. Apport de la méthode microsismique à la compréhension de l'impact de l'ennoyage sur la stabilité des ouvrages miniers abandonnées. Journées AGAP qualité "Eau et géophysique : ressource environnement risque", Oct 2004, Lyon, France. pp.30-33. ineris-00972475

**HAL Id: ineris-00972475**

**<https://hal-ineris.archives-ouvertes.fr/ineris-00972475>**

Submitted on 3 Apr 2014

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# APPORT DE LA MÉTHODE MICROSIsmIQUE À LA COMPRÉHENSION DE L'IMPACT DE L'ENNOYAGE SUR LA STABILITÉ DES OUVRAGES MINIRS ABANDONNÉS

Gloria Senfaute, Jérôme Wassermann

INERIS- LAEGO, Ecole des Mines, Parc de Saurupt – 54042 Nancy

Durant des siècles, la France a largement exploité les ressources de son sous-sol. Dans le bassin ferrifère lorrain, près de 3 milliards des tonnes de minerai ont été extraites, nécessitant le creusement de plus de 40 000 km de galeries et créant des vides souterrains d'un volume global de plusieurs centaines de millions de m<sup>3</sup>. Une fois les ressources épuisées, les exploitations minières ont été progressivement arrêtées et abandonnées. Consécutivement à cet arrêt, des affaissements miniers ou des effondrements ont survenu à l'aplomb des mines abandonnées créant d'importants dommages aux bâtiments et infrastructures de surface. L'arrêt des pompages d'exhaure minière induit l'ennoyage progressif des ouvrages miniers abandonnés. L'impact de cet ennoyage sur la stabilité des ouvrages miniers reste un problème particulièrement complexe pour lequel peu de connaissances sont disponibles.

Afin de mieux comprendre et de quantifier l'impact éventuel de l'ennoyage sur le comportement des ouvrages miniers, le GISOS<sup>1</sup> a entrepris des investigations scientifiques basées sur des mesures et observations *in situ*, effectuées dans le site expérimental de Tressange<sup>2</sup>. Ce site a fait l'objet d'une importante instrumentation géotechnique, géophysique et hydro-chimique avant et pendant son ennoyage progressif ainsi que lors de son dénoyage. Une des expériences menées dans le site de Tressange concerne la détection par écoute microsisimique d'éventuels mécanismes de déformation (fissuration, cisaillement, fracture...) induits par l'ennoyage. Les publications scientifiques montrent que la méthode microsisimique a été validée dans divers contextes en tant que méthode de surveillance pour suivre le comportement mécanique des massifs rocheux soumis à de fortes contraintes mécaniques (Mendecki 1993, Senfaute et al 1997 et 2001). Cependant, l'application de cette méthode pour détecter des microruptures induites par l'augmentation de la pression hydrostatique générée par le remplissage en eau d'une cavité a été très peu étudiée. Gendzwil and Prugger (1990) ont étudié dans une mine de potasse (Potash Company of American Mine), la corrélation entre l'activité microsisimique enregistrée et l'ennoyage d'une cavité. Cette étude a montré que des événements microsisimiques se corrélaient très étroitement avec l'augmentation de la pression hydrostatique (environ 8 MPa) due au remplissage en eau de la cavité.

L'objectif de la présente recherche est de déterminer, à partir des expérimentations *in situ*, l'apport de la méthode microsisimique dans l'identification et la compréhension des mécanismes de déformation des ouvrages miniers sous l'influence de l'eau (ennoyage).

## Le site expérimental et le réseau de mesure microsisimique

Le site expérimental fait partie de la mine de Tressange située au Nord du Bassin ferrifère lorrain. La méthode d'exploitation était la méthode de chambres et piliers abandonnés. La zone ennoyée est située dans une couche de minerai de fer du stot, dite couche brune (figure 1a); elle est délimitée par dix barrières étanches, et englobe ainsi entièrement deux piliers (G et F) et partiellement dix autres (figure 1b). Le taux de défrêtement de la zone est de l'ordre de 36 %, les galeries sont plus ou moins rectangulaires (5 m de large et 3 m de haut). L'ennoyage concerne également l'intercalaire marneux situé au-dessus de la zone ennoyée. Les capteurs microsisimiques ont été installés dans des forages verticaux réalisés dans l'intercalaire située au-dessus de la cellule ennoyée.

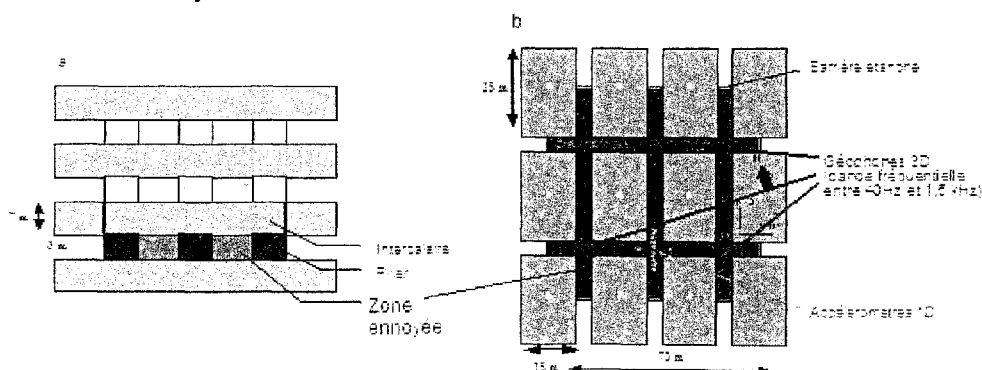


Figure 1 : (a) Vue verticale de la zone ennoyée et (b) géométrie du réseau microsisimique.

<sup>1</sup> Groupement d'intérêt scientifique sur l'Impact et la Sécurité des Ouvrages Souterrains associant l'INERIS, le BRGM, l'INPL et l'ENSMP.

<sup>2</sup> Le site expérimental est situé dans la mine de Tressange, dans la partie septentrionale du bassin ferrifère lorrain, qui fut exploitée par l'ARBED

## Enregistrements durant l'expérimentation d'ennoyage du site

La surveillance microsismique du site a commencé 15 jours avant l'ennoyage et s'est poursuivie pendant toute la durée des opérations d'ennoyage et de dénoyage (entre mars 2002 et août 2003). Pendant toute la durée de l'expérimentation, trois catégories d'événements ont été enregistrés :

- Tirs de carrières. Ce sont des événements enregistrés lors des tirs effectués dans une carrière située à 6 km du site. Il s'agit des signaux très basses fréquences (de l'ordre de 30 Hz) enregistrés sur des durées importantes.

- Séismes naturels. Deux séismes ayant affecté la région ont été enregistrés : le séisme d'Aix-La-Chapelle, survenu le 22 juillet 2003 à 07h45, de magnitude 4,7 et le séisme de Saint Dié dans les Vosges, survenu le 22 février 2003 à 21h41, de magnitude 5,4. Les signaux enregistrés sont très basses fréquences (~10 Hz). Le séisme a été enregistré pendant 32 secondes.

- Événements microsismiques associés aux instabilités du site. Ce sont des événements locaux induits par des instabilités mécaniques produites sur le site expérimental. Les signaux ont des fréquences variables, entre 50 Hz et 1,5 kHz. 134 événements ont été enregistrés entre mars 2003 (début de l'ennoyage) et août 2003 (fin du dénoyage). La figure 2 présente un exemple de la signature de chaque catégorie d'événement enregistré.

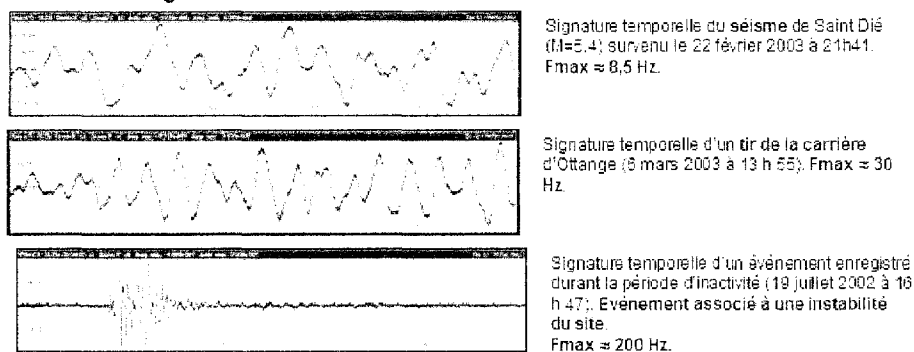


Figure 2 : Exemple de signaux de trois catégories d'événements enregistrés. L'échelle verticale est en m/s et l'horizontale en seconde

Les 134 événements microsismiques enregistrés pendant toute la durée de l'expérimentation mettent en évidence une relation entre la mise en eau du site expérimental et l'apparition de ces événements. L'analyse de l'évolution et du comportement de cette activité microsismique montre que c'est particulièrement pendant la première phase de mise en eau, lors de la montée en eau dans la cavité, que les événements les plus forts apparaissent. Après la stabilisation du niveau d'eau, l'activité sismique continue et les événements sont plus nombreux mais d'énergies beaucoup plus faibles que ceux enregistrés pendant la première phase. L'étude des signaux et les corrélations avec les observations sur site, effectuées avant et après le dénoyage fournissent les résultats importants suivants :

- une catégorie d'événements qui serait associée à une source d'impact local. Les signaux sont de courte durée, avec un contenu fréquentiel assez élevé (supérieur à 200 Hz), les événements ont été enregistrés par un seul capteur. Ces résultats indiquent que la source à l'origine de ces événements serait associée à des microruptures situées au niveau de l'intercalaire, proches du capteur d'enregistrement ;

- une deuxième catégorie d'événements qui serait associée à une source d'impact plus régional, à l'échelle du site expérimental. La fréquence des signaux est nettement moins élevée que celle des événements précédents (inférieur à 200 Hz) et les événements ont été enregistrés par la totalité des capteurs du réseau.

La figure 3 illustre la corrélation entre les deux catégories d'événements identifiés et le niveau d'eau de la cellule ennoyée. Le mécanisme de source des événements enregistrés serait associé à des ruptures créées lors de la mise en eau du site ou à la propagation des ruptures pré-existantes dans les piliers ou dans l'intercalaire. Il est aussi probable qu'une partie de ces événements serait associée à des décrochements de blocs au toit de la cellule ennoyée. Pour vérifier les hypothèses sur l'origine des événements enregistrés, une expérimentation dite « chute de bloc » a été effectuée sur le site expérimental.

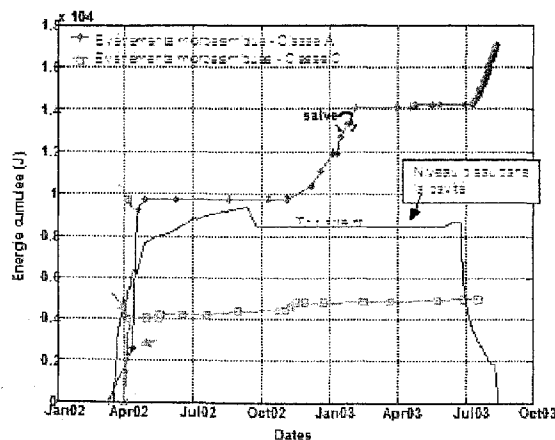


Figure 3 : Événements enregistrés et niveau d'eau de la cavité. Les flèches indiquent les événements les plus énergétiques enregistrés pendant la montée de l'eau dans la cavité

## Expérimentation de chute de bloc provoquée

Les chutes de blocs peuvent être considérées comme le résultat de dégradations importantes d'une galerie, et comme les prémices de la rupture du toit de cette dernière. Ainsi, une expérience de chute de bloc provoquée volontairement a été mise en œuvre afin de mieux comprendre les mécanismes et d'identifier les signatures microsismiques associées aux processus de fissuration conduisant au décrochement des blocs au toit de la cavité ennoyée. Un forage non débouchant dans la cavité a été creusé dans l'intercalaire de la couche de minerai « grise-brune », placée au dessus de la cavité ennoyée. Le fond du forage se situe à environ 0,50 m du toit de la cellule ennoyée en couche brune. L'expérimentation consiste à exercer une poussée sur le fond du forage afin de détacher des blocs du toit. Le dispositif expérimental est constitué d'une colonne de réaction qui s'appuie sur le toit de la couche grise, d'un vérin, et de tiges dans le forage (figure 4a). Ainsi l'expérimentation consiste en une augmentation progressive de charge jusqu'au décrochement provoqué de blocs, alors qu'une chute naturelle a lieu à charge quasiment constante.

Douze événements microsismiques ont été enregistrés durant l'expérimentation de chute de bloc. La répartition temporelle de ces événements est présentée figure 4b. Le cycle 1 de l'historique de chargement interprété comme étant la phase de compression des débris du forage n'a été associée à aucun mécanisme de fracturation au sein de la roche : aucun événement microsismique n'est enregistré. La fracturation se produit dès le cycle 2, lorsque des événements microsismiques sont enregistrés, elle se propagerait jusqu'à atteindre la partie basse de l'intercalaire en contact avec la cavité ennoyée. Les événements enregistrés pendant les cycles 2 et 3 seraient associés à des processus d'initiation et de propagation de fractures dus à la mise en charge de l'intercalaire au fond du forage. Les événements de la phase finale, événements à plus forte énergies, seraient dus aux processus de glissements entre les blocs qui ont conduit au décrochement des blocs au toit de la cavité ennoyée.

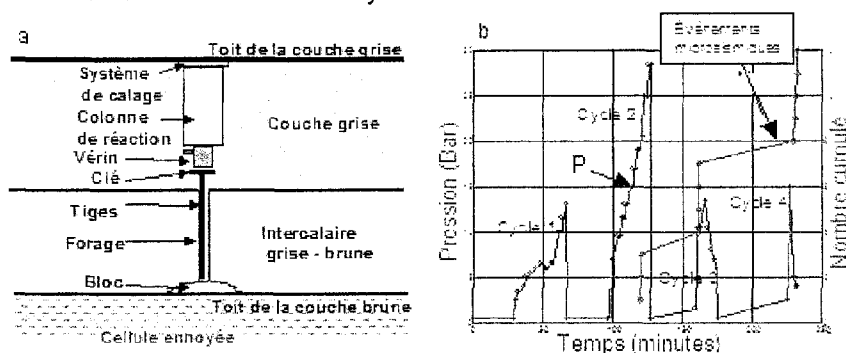


Figure 4 : (a) Schéma du dispositif expérimental installé pour la réalisation de la chute provoquée de blocs ; (b) Evolutions de la pression dans le vérin et du nombre d'événements microsismiques enregistrés.

L'analyse de l'ensemble des événements microsismiques enregistrés lors de l'expérimentation de chute de blocs montrent que 92 % des événements associés à la chute de blocs ont des fréquences inférieures à environ 250 Hz. Ces événements, caractérisés par les couples « Amplitude max, fréquence max » se corrélaient avec les événements dits d'impact régional, enregistrés lors de l'expérimentation d'ennoyage du site (figure 5). Ces résultats confirment que les événements enregistrés pendant les opérations d'ennoyage du site expérimental sont bien des événements associés aux processus de fracturation, propagation de la fracturation et/ou cisaillements générés par l'arrivée de l'eau dans la cavité. Cependant, il n'a pas été possible de déterminer le mode de rupture (traction, compression, cisaillements) à l'origine des événements.

### Synthèse et conclusions

Une activité acoustique a été enregistrée pendant l'ennoyage et le dénoyage d'un site expérimental. L'étude de cette activité a montré une relation entre la mise en eau du site et l'apparition des événements microsismiques. L'évolution de l'activité microsismique montre que c'est particulièrement pendant la phase de montée de l'eau dans la cavité que les

événements les plus forts apparaissent. Après la stabilisation du niveau d'eau, l'activité sismique continue, les événements sont nombreux mais avec moins d'énergies que ceux enregistrés pendant la montée de l'eau. Une expérimentation de chute de bloc provoquée

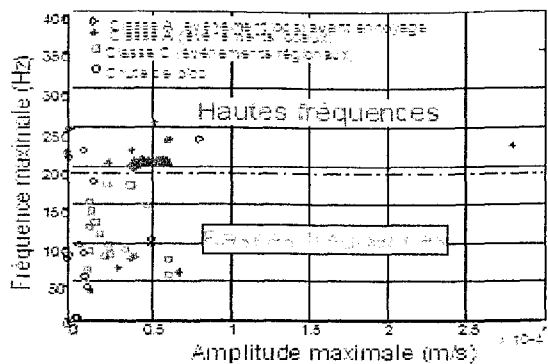


Figure 5 : Répartition entre amplitude maximale et fréquence d'amplitude maximale des événements enregistrés pendant l'ennoyage du site et pendant la chute provoquée de blocs.

volontairement a confirmé que l'origine de ces événements était bien associée à des mécanismes de déformation du massif rocheux (fissuration, propagation de la fissuration, cisaillements...) induits par l'ennoyage.

## Références

- Mendecki A.J. (1993) : Real-time quantitative seismology in mines. Rockburst and Seismicity in Mines. Balkema.
- Senfaute G., Chambon C., Bigarre P., Guise Y., Josien J.P. (1997) : Spatial Distribution of Mining tremors and Relationship to Rockburst. Pure and Appl. Geophys. 150. Birkhäuser Verlag, Basel, pp. 451-459.
- Senfaute G., Al Heib., Josien J.P., Noirel J.F. (2001) : Detection and monitoring of high stress concentration zones induced by coal mining using numerical and microseismic methods. Rockburst and Seismicity in Mines. RaSim5, South African Institute of Mining and Metallurgy, pp. 453-456
- Gendzwil D.J. & Prugger A.F. (1990) : Seismic activity in a flooded Saskatchewan potash mine. Rockbursts and Seismicity in Mines, Fairhurst (ed), Balkema, Rotterdam, pp. 115 – 120.